

# Augmented Materiality

## 身体と空間を繋ぐ人工現実におけるマテリアル

助川知佳<sup>1\*</sup> 池田靖史<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup>慶應義塾大学 環境情報学部

<sup>2</sup>東京大学 建築学専攻 特任教授 / 慶應義塾大学 特任教授

\*c.sukegawa@keio.jp, \*\*yasushi@arch1.t.u-tokyo.ac.jp

### 要旨

身体を持つ人間は物質と能動的に関わる中で無意識の対話を行い、物質と個人的な関係性、マテリアリティを築くことが指摘されている。人工現実においては意識的な操作性を重視するデバイスが開発されているが、マテリアリティを重視した事例は少ない。本研究では人工現実で物性を持つオーグメンテッド・マテリアルを、タンジブル・リモートコントローラと物性アルゴリズムを開発することで実験的に作成した。体験者はタンジブル・リモートコントローラを掴む・押す・摘まむ・探る動作を行いながら、VRゴーグルによりオーグメンテッド・マテリアルの内側から変形を見る。手の感触に応じて身体を囲むマテリアルの空間が変化するため、体験者は見回す・振り返る・のけ反る動作を通して手と空間の関係を理解する。これはマテリアルという関わり方により生まれた身体動作と空間認知の循環であり、人工現実特有の関係性であるオーグメンテッド・マテリアリティである。

**キーワード:** Materiality、身体動作、空間認知、人工現実、インタラクション

### 1 背景

人間は身体を通して物質と関わり、マテリアリティを育む。マテリアリティとは人間と物質のあいだに生まれる関係性であり、身体と物質の相互作用を基盤とした個人的体験により育まれる。Picon(2021)は、マテリアリティとは本質的には関係性であり、人間の思考や行動を通して物質とのあいだに生まれる点で、単なる素材や材料と異なることを指摘する。マテリアリティが生まれるのは、人間が自身の身体で物質と能動的に関わることで、物質と無意識の対話をするからだと考える。Schön(1984)は、デザイン行為における手描きスケッチの役割を分析し、デザイナーと物質の対話が予想していなかった課題や可能性を引き出すことを指摘する。これはデザインのアイデアを明確化する過程において、スケッチブックというマテリアルへ描き出す能動的な身体動作が、意識外にあった気づきを与えることを指摘している点で興味深い。またIngold(2000)は、籠を編む技能を例として、デザインされるものが身体動作と物質の相互作用から育まれており、明確なデザインそのものが思い描かれているわけではないことを指摘する。これも物性を持った竹籤とそれを編む能動的な動作が重要であり、人間と物質とのあいだにマテリアリティが育まれていると考える。

また身体を基盤とした関係性は空間とのあいだにも存在する。Schmarsow(1914 井面訳 2003)は空間表象が、触覚と視覚を中心とする身体感覚と事物の関わりの中で形成されることを指摘し、空間表象の基盤である身体運動の重要性を説いている。つまり人間は、身体感覚と運動を通して空間を理解して

いるのである。またWölfflin(1886 上松訳 1988)は、身体の質的側面を指摘しながら、建築空間や形態への印象が自身の身体体験を通じて抱かれることを主張する。建築の細くて高い柱から崇高さを感じるのは身体で重力を感じているからであり、空間へ抱く印象も身体が基本となるのである。

一方、人工現実においてはスケールや視点の位置を操作することで、身体と空間の拡張が試みられている(e.g., Kasahara & Rekimoto, 2014; Özel et al., 2018)。これらは情報技術を用いて、身体と空間の新しい関係を構築していると言える。しかし、人工現実上の身体と物質の関係性は乏しい。この原因として、人工現実で扱う動作が意識的なレベルに留まり、人間の頭の中で予め決めたものごとを実行することに限定している点が挙げられる。つまり人間の行動を無意識レベルで引き出すオブジェクトの設計は難しく、人間と物質のあいだで相互作用の循環が成立しにくいのである。

人工現実における物質との新たな関係を探求することは、人工現実との豊かな関わり方の開拓につながるかと考える。人工現実で拡張する身体—空間の関係を活かしながら、身体—物質の関係を構築するには、マテリアリティを主軸に据えたシステムを開発する必要があると考える。本研究では、人工現実上で物性を持ち、人間の身体動作を引き出すオーグメンテッド・マテリアルを実験的に作成した。身体動作は多様なカタチを直感的に作れる粘土細工において見られた行為のうち、〈掴む・押す・摘まむ・探る〉動作に限定した。本紙では開発したオーグメンテッド・マテリアルの詳細と、人間との関係性で

あるオーグメンテッド・マテリアリティを考察する。

## 2 開発物

開発したオーグメンテッド・マテリアルとは、両手に収まる柔らかいタンジブル・リモートコントローラを掴む・押す・摘まむ・探ると変形する、人工現実上の物質である(図1)。体験者はVRゴーグルを装着することで、様々な種類のオーグメンテッド・マテリアルを視覚的に体験する。

タンジブル・リモートコントローラは、柔らかい球体状の操作部と、操作部の変形を情報化する情報変換部からなる(図2)。体験者が操作部をみぞおち付近で持ち、掴む・探るなどの動作を行うと、情報変換部がその変形量を数値化する。これに応じて、物性アルゴリズムを付与した球体状のオブジェクトが人工現実上で変形する。体験者はVRゴーグルによりオブジェクトの内側から変形を見ており、全身を囲う空間が手の感覚に応じて凹むことを視覚的に体験する。つまりこのオーグメンテッド・マテリアルにより、体験者は<手の内にあるマテリアルの中に入る>体験をする(図3)。



図1：オーグメンテッド・マテリアルのシステム図



図2：タンジブル・リモートコントローラ  
a) 全体像と構成する部分 b) 操作する際の持ち方

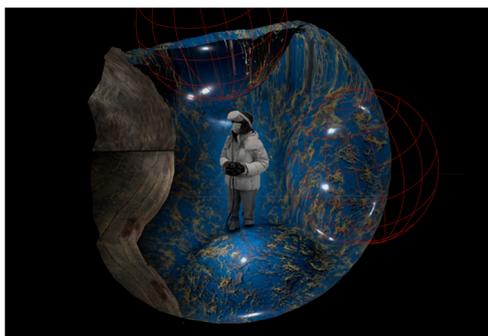


図3：オーグメンテッド・マテリアルのイメージ図

### 2.1 タンジブル・リモートコントローラの構成

タンジブル・リモートコントローラは操作部と情報変換部からなる(図2)。操作部は、手の掴む・押す・摘まむ動作をコントローラの変形として読み取る8

つのユニットからなる部品と、手の探る動作をコントローラの姿勢情報として取得する部品で構成される。情報変換部はマイクロ・コントローラを用いて、操作部からの情報をゲームエンジンへ出力する。

#### 2.1.1 操作部の詳細

操作部は、導電性ゴムシートを縫い合わせて綿を詰めた、8つの手のひら大のユニットがそれぞれ立方体の頂点の位置関係で配置された部品である(図4)。全体として球体状の柔らかい部品であり、手の掴む・押す・摘まむなどの暗黙的な動作を導電性ゴムの変形量として情報変換部へ伝達する。この部品の中心に3軸ジャイロスコップMPU-6050があり、手が探る動作を角速度情報として読み取る。

#### 2.1.2 情報変換部の詳細

情報変換部は操作部の情報を処理したうえでゲームエンジンに送信する部分である(図4)。この部分はマイクロ・コントローラArduino Mega 2560を用いており、操作部の各ユニットの変形量とYaw軸回転を含めた姿勢情報を数値化し、ゲームエンジンUnityへ出力する機能を持つ。導電性ゴムのユニットとArduinoは、導電性ゴムにつけた真鍮製のパネホックと導線をはんだ付けすることで配線した。

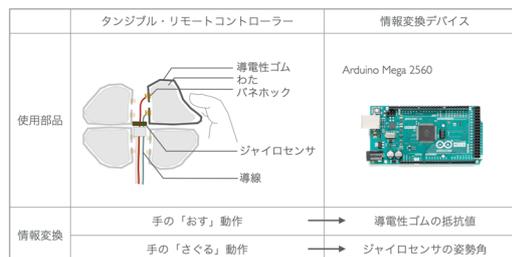


図4：タンジブル・リモートコントローラの操作部の断面図と変換する情報の詳細

### 2.2 オーグメンテッド・マテリアルのアルゴリズム

体験者がVRゴーグルを通して視覚的に体験するオーグメンテッド・マテリアルは、Unity環境上に構築したアルゴリズムにより成り立つ。アルゴリズムは、3次元グラフィックスの曲面表現の一種であるMetaballを用いて、タンジブル・リモートコントローラの入力に従って球体状のオブジェクトが凹む様にC言語で記述した。さらに、材料力学におけるポアソン比を参考に、ある方向の変形に対して応力方向に発生する変形の比率を実装し、オーグメンテッド・マテリアルの物性を演出した。また、PCのキー入力でコマンドを入力すると、オーグメンテッド・マテリアルの性質を以下の様に操作できる。

#### 2.2.1 体験者の座標位置・スケール

VR視点のカメラをUnity環境上で移動することで、体験者の人工現実上の座標とスケールが操作する。これにより、体験者は<手の内にあるマテリアルの中に入る>ことで<身体の矮小化>もしくは<両

手の巨大化>を体験する。

### 2.2.2 オグメンテッド・マテリアルのテクスチャ

オグメンテッド・マテリアルに付与するテクスチャと、手の動作に応じて発する音を操作することで、体験者は視覚・聴覚的に異なる物性を体験する。物理世界では滑らかに動かない板材や、動物の毛皮など、人工現実特有のテクスチャを体験できる。

### 2.2.3 オグメンテッド・マテリアルの物性

オグメンテッド・マテリアルの変形アルゴリズムのパラメータを変えることで、物理的特性を操作できる。このアルゴリズムでは、ポアソン比・変形量・粘性・弾性を操作できる(表1)。アルゴリズムにおいてひずみ量の比率を変化させると、オグメンテッド・マテリアルの任意の部分を変形させた際にその応力方向に変形する部分の変形速度と程度が変化する。また、変形する部分の径を操作することでオグメンテッド・マテリアルの凹み方が変化する。これにより、変形部分を小規模に突出させたり、体験者へ迫りくる様にすることができる。オグメンテッド・マテリアルの変形アルゴリズムはベクトル演算であるため、変形時の速度ベクトルの大きさを操作すればオグメンテッド・マテリアルの粘性が、変形前の座標値に戻る速度ベクトルの大きさを操作すれば弾性が変化した様に感じられる。

表1：オグメンテッド・マテリアルの物性

変化させる物性	変数
ポアソン比	ひずみ量の比率
変形量	変形する部分の径
粘性	変形時の速度ベクトルの大きさ
弾性	変形後に元の座標に戻る速度ベクトルの大きさ

## 3 既存インタラクティブ・デバイスとの比較

開発したオグメンテッド・マテリアルは、身体の無意識的な動作を引き出しながら人工現実の特徴を活かした体験ができるという点で、既存のデバイスと異なる特徴を持つ(図5)。これはタンジブル・リモートコントローラが手の内にあり、掴みやすい形状をしていることと、VRゴーグルを通して空間の変化が視覚的に体験できることに依ると考える。

### 3.1 ツールとの違い

ユーザ・インターフェースにおけるツールは、人工現実上で人間の意識的な決定を伝えるための道具である。例えばコンピュータやVR空間上のオブジェクトを操作する際に使用するマウスやリモコンはオブジェクトを<指し示す>ための道具であ

り、カーソルは指先のメタファである。この特徴は、頭の中で予め選択したことを実行すること、つまり意識的な操作性において優れている。対してオグメンテッド・マテリアルは、人間にとって掴みややすく、柔らかいために、手の押す・探るなどの動作を無意識的に引き出すことが特徴であり、ツールとは関わり方そのものが異なる。

### 3.2 トラッキング・デバイスとの違い

ハンド・トラッキングやVRグローブなどのトラッキング・デバイスは、<手を情報化する>ことを目的とした機械であり、自身の手が人工現実に通じていると錯覚させることが目標である。しかしタンジブル・リモートコントローラの様<手の内に収まるもの>が存在せず、大きさや弾性などの物性が無いために、手が何気なく触り続ける動作を引き出すことが難しい。

### 3.3 タンジブル・メディアとの違い

メディア・アートに分類されることの多い、触覚と物質とのインタラクションを情報技術によって拡張するタンジブル・メディアとは、身体と拡張する空間的な位置関係が異なる。Follmer(2013)らの作品であるinFORMや、Ratti(2004)らによるSandScapeは、<指の先>にあるマテリアルに情報が付与されることで固有の体験が成される。一方オグメンテッド・マテリアルに情報が付与されるのは<身体を包み込むマテリアルの空間>である。指先とオグメンテッド・マテリアルの空間的な位置は隔絶しており、手の感触が両者を結びつける役割を担う点で、タンジブル・メディアとは異なる。

	User Interface		Interactive Device	
	Tool	Tracking Device	Material	Tangible Media
事例	 2Dマウス 3Dマウス	 ハンドトラッキング	 オグメンテッド・マテリアル	 inFORM SandScape
身体動作の暗黙性	低	中	中	高
特徴	頭で選択したことを実行する手段	手の動作の特徴を捉える	空間が手の感触で変化する	物質の情報化による新たな体験
操作するもの	カーソルの一点	物理・人工現実の手指	身体全体を囲む空間	物理的なインターフェース
追求すること	意識的な操作性	手の動きの情報化	手の感触とマテリアルのインタラクション	物質の情報化による固有のインタラクション
必要な動作	限定された手の動作	手の自由動作	「押す・探る」などの手指の動作	手とインターフェースにより生まれる動作

図5：既存デバイスとの比較

## 4 体験者の様子

オグメンテッド・マテリアルを20 - 60歳の男女17名(平均年齢28.7±11.1歳；女9名、男8名)がボランティアとして体験した。このうち、VRを経験したことのある者は6名であった。VR経験の有無は体験者本人の証言により分類した。

体験者の行動は様々であったが、タンジブル・リモートコントローラの操作部の一つを掴むもしくは押す動作を基本とする場合と、操作部の複数個を掴む動作を行う場合と、探る動作を繰り返す場合に大別できた。このうち、体験中にタンジブル・リモ

ートコントローラを触る手の感触とオーグメンテッド・マテリアルの変形の位置を対応させ、空間的な位置関係を理解できた体験者が6名おり、うちVR経験者は5名であった。VR経験者はVRゴーグルを被った直後から見回す動作や振り返る動作を行うのに対し、VR経験のない体験者はこちらが促さない限り首や身体を動かさず、直立した状態で体験する傾向を感じた。またVR経験者は、顔面に迫る位置でマテリアルが突出してきた場合、のけ反る動作が多く見られた。さらに、体験者の態勢が体験時の行動を変容させることがあり、座っている場合は立って体験する場合よりも振り返る動作の回数が少なくなる傾向を感じた。

## 5 考察

オーグメンテッド・マテリアルの体験中に行われた身体動作は、掴む・押す・探るなどの手の動作と、見回す・振り返る・のけ反るという身体全体を使った動作が見られた。これは体験者の座標位置やスケールを操作したことで、身体とオーグメンテッド・マテリアルに加え、空間とのあいだに関係が生まれたからだと考える。

SchmarsowとWölfflinが説く様に身体が空間表象とその印象の基盤であるならば、<手の内にあるマテリアルの中に入る>オーグメンテッド・マテリアルの体験は、過去の身体経験を通じて築き上げた知覚世界を一時的であれ覆している。しかし、手と空間の関係を推論できた体験者6名のうち5名がVR経験者であることを踏まえると、過去のVR経験と、身体と空間の拡張に対する順応能力に関係があり、VR経験者はオーグメンテッド・マテリアルにより拡張された身体と空間の関係を新たに築けていた可能性があると考えられる。またVR経験者は体験時に見回す・振り返るなどの動作が多かったことから、拡張された身体と空間の対応関係を推論するには、身体運動を通じた空間体験が必要であると推測する。これはSchmarsow(1914 井面訳 2003)の主張や、逆さ眼鏡を用いて視覚的に反転させた見えへの順応に視覚と身体運動が関係することを示したStratton(1949)の主張を支持する。

## 6 おわりに

今回のオーグメンテッド・マテリアルにより生まれた関係性とは、身体動作と空間認知の循環であると考えられる。体験中に、タンジブル・リモートコントローラの掴みやすさと柔らかさが手は無意識的な動作を引き出し、VRゴーグルを通して空間の動きを視覚的に知覚し、手の感触と空間の対応関係を身体全体で推論する流れが繰り返されている。これは人工現実における関わり方としてのマテリアルを重要視したことで身体・物質・空間のあいだに生まれたオーグメンテッド・マテリアリティ、拡張された関係性である。

今後の課題として、マテリアルのデザインが挙げられる。引っ張る・千切るなどの手の暗黙的動作をさらに引き出すことや、人間へフィードバックする情報のデザインがどのように身体動作を変容させるのか、そしてそれを基に抱く空間表象も変化するのか等は明らかでない。またVR経験が浅い場合は操作に慣れが必要であることも事実であり、Stratton(1949)の様に長期間体験した場合の空間認知の変容や行動的順応の有無も定かではない。しかし概念としてのオーグメンテッド・マテリアルは身体の直感性を活かした空間との関わり方であるから、この先に無意識レベルの対話から発想を促すデザインツールとしての発展や、人工現実における環境デザインを拡張する可能性があると感じている。

## 7 謝辞

指導教員と友人へ、感謝の意を表します。特にご指導を賜った池田靖史教授、森将輝先生、堀田憲祐研究員、多角的なご助言を賜った矢部泰政さん、後藤慶多さん、池田研究室・森将輝研究室の皆様へ、心から感謝申し上げます。

## 8 参考文献

- Follmer, S., Leithinger, D., Olwal, A., Hogge, A., & Ishii, H. (2013). *inFORM: Dynamic Physical Affordances and Constraints through Shape and Object Actuation*. *UIST'13: The 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, St. Andrews Scotland, United Kingdom.
- Ingold, T. (2000). *The Perception of the Environment: Essays on livelihood, dwelling and skill*. Routledge.
- Kasahara, S., & Rekimoto, J. (March). *JackIn: integrating first-person view with out-of-body vision generation for human-human augmentation*. In *Proceedings of the 5th augmented human international conference*.
- Özel, G., Ennemoser, B., & Philipps, T. (2018). *CYPHER*. Digital. <http://www.ozeloffice.com/cypher>
- Picon, A. (2021). *The Materiality of Architecture*. University of Minnesota Press.
- Ratti, C., Wang, Y., Ishii, H., Piper, B., & Frenchman, D. (2004). Tangible User Interfaces (TUIs): A Novel Paradigm for GIS. *Transactions in GIS*, 8(4), 407-421. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2004.00193.x>
- Schmarsow, A. (2003). *Raumgestaltung als Wesen der architektonischen Schöpfung* (N. Inomo, Trans.). Chuo-Koron Bijyutsu Syuppan. (Original work published 1914)
- Schön, D. A. (1984). *The Reflective Practitioner: How Professional Think in Action*. Basic Books.
- Stratton, G. M. (1949). Vision Without Inversion of the Retinal Image. In W. Dennis (Eds.), *Readings in general psychology* (pp. 24-40). Prentice-Hall, Inc. <https://doi.org/10.1037/11352-005>
- Wölfflin, H. (1988). *Prolegomena zu einer Psychologie der Architektur* (Y. Uematsu, Trans.). Chuo-Koron Bijyutsu Syuppan. (Original work published 1886)